



#4

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of : **Confirmation No. 8805**  
Hirotooshi FUKUNAGA et al. : Docket No. 2002-0323A  
Serial No. 10/092,547 : Group Art Unit 2834  
Filed March 8, 2002 :

METHOD OF MANUFACTURING RARE  
EARTH THICK FILM MAGNET, MOTOR  
AND ACTUATOR COMPRISING RARE  
EARTH THICK FILM MAGNET  
MANUFACTURED BY THE MANUFAC-  
TURING METHOD, AND METHOD OF  
MANUFACTURING SAME

THE COMMISSIONER IS AUTHORIZED  
TO CHARGE ANY DEFICIENCY IN THE  
FEE FOR THIS PAPER TO DEPOSIT  
ACCOUNT NO. 23-0975.

**CLAIM OF PRIORITY UNDER 35 USC 119**

Assistant Commissioner for Patents,  
Washington, DC 20231

Sir:

Applicants in the above-entitled application hereby claim the date of priority under the International Convention of Japanese Patent Application No. 2001-66356, filed March 9, 2001, as acknowledged in the Declaration of this application.

A certified copy of said Japanese Patent Application is submitted herewith.

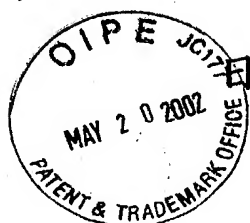
Respectfully submitted,

Hirotooshi FUKUNAGA et al.

By Matthew Jacob  
Matthew Jacob  
Registration No. 25,154  
Attorney for Applicants

MJ/pjm  
Washington, D.C. 20006-1021  
Telephone (202) 721-8200  
Facsimile (202) 721-8250  
May 20, 2002

10/092,547  
3-8-02



本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 3月 9日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-066356

[ST.10/C]:

[JP2001-066356]

出 願 人

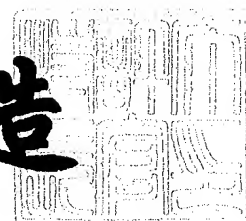
Applicant(s):

松下電器産業株式会社

2002年 3月 1日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2002-3012783

【書類名】 特許願

【整理番号】 2504020033

【提出日】 平成13年 3月 9日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H02K 21/14

【発明者】

    【住所又は居所】 長崎県西彼杵郡長与町三根郷 5 4 - 7 2

    【氏名】 福永 博俊

【発明者】

    【住所又は居所】 長崎県長崎市本原町 3 0 - 1 8 コスモス 2 号館 3 0 1 号室

    【氏名】 中野 正基

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

    【氏名】 山下 文敏

【特許出願人】

    【識別番号】 000005821

    【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100097445

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 岩橋 文雄

【選任した代理人】

    【識別番号】 100103355

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 坂口 智康

【選任した代理人】

    【識別番号】 100109667

【弁理士】

【氏名又は名称】 内藤 浩樹

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011305

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9809938

【書類名】 明細書

【発明の名称】 希土類厚膜磁石の製造方法およびその製造方法によりつくられた希土類厚膜磁石を使用した磁石モータ

【特許請求の範囲】

【請求項1】 物理堆積法によって基板に厚さ $30\sim 100\mu\text{m}$ のR-B-TM系合金（ただし、Rは $10\sim 20\text{at.}\%$ で、Yを含む希土類元素のうち少なくとも1種、Bは $5\sim 20\text{at.}\%$ 、残部はTMでFeまたはFeの一部をCoで置換したもの、および不可避免的な不純物を含む）を成膜後、熱処理によって $\text{R}_2\text{TM}_{14}\text{B}$ を主相とする厚膜磁石を少なくとも1層以上設けた希土類厚膜磁石の製造方法。

【請求項2】 レーザーアブレーション法（PLD）による成膜でPLDターゲットの合金組成が $\text{R}_x\text{TM}_{14}\text{B}$ （ $x>2$ ）である請求項1記載の希土類厚膜磁石の製造方法。

【請求項3】 PLD基板が飽和磁化 $13\text{ kG}$ 以上のFe、Fe-Ni、Fe-Co、Fe-Si、Fe-N、Fe-Bの群から選ばれるソフト磁性層である請求項1記載の希土類厚膜磁石の製造方法。

【請求項4】 PLD基板が表面にTaを配した構成の軟磁性層である請求項3記載の希土類厚膜磁石の製造方法。

【請求項5】 PLD基板がTaイオン注入軟磁性層である請求項3記載の希土類厚膜磁石の製造方法。

【請求項6】 PLD成膜速度が $\geq 50\mu\text{m/hr}$ である請求項1記載の希土類厚膜磁石の製造方法。

【請求項7】 PLD成膜時の雰囲気圧が $\leq 10^{-6}\text{ Torr}$ である請求項1記載の希土類厚膜磁石の製造方法。

【請求項8】 最高到達温度 $650\sim 750^\circ\text{C}$ で熱処理し、磁石の保磁力が $6\text{ kOe}$ 以上である請求項1記載の希土類厚膜磁石の製造方法。

【請求項9】 PLD成膜後、厚さ方向へ加圧しながら直接通電し、そのジュール熱で結晶化と同時に厚膜磁石の表面を平滑化する請求項1記載の希土類厚膜磁石の製造方法。

【請求項10】 PLD成膜後、複数枚積層し、厚さ方向へ加圧しながら直接通電し、そのジュール熱で結晶化と同時に多層厚膜磁石とする請求項1記載の希土類厚膜磁石の製造方法。

【請求項11】 直接通電加熱が加熱速度 $\geq 9^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 、圧力 $200\sim 400\text{kgf}/\text{cm}^2$ 、 $\leq 1\text{Torr}$ で行われ、保磁力を $10\text{kOe}$ 以上とした請求項9または請求項10記載の希土類厚膜磁石の製造方法。

【請求項12】 請求項1～11のいずれか1項記載の希土類厚膜磁石の製造方法によりつくられた希土類厚膜磁石と回転軸とで構成した可動子、および前記可動子と空隙を介して軸方向に対向する固定子とを備えた磁石モータ。

【請求項13】 可動子と固定子を平板状に構成した請求項12記載の磁石モータ。

【請求項14】 可動子枠内壁にカーリングして固定した後、熱処理により結晶化した希土類厚膜磁石と回転軸とで構成した可動子、および前記可動子と空隙を介して対向する固定子とを備えた径方向空隙型磁石モータ。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は希土類厚膜磁石の製造方法、およびマイクロロボット、医療、宇宙開発等において駆動源として利用されるミリメートルサイズの高性能モータ、アクチュエータ等に関する。

##### 【0002】

#### 【従来の技術】

例えば、特開平05-21865号公報には希土類薄膜磁石をスパッタ法によりガラス基板、石英基板およびシリコンウエハー等の基板等の上に形成する方法において、前記基板等と前記希土類薄膜磁石との間に金属層を形成する方法が開示されている。希土類薄膜磁石はスパッタリング法で形成することが一般的であり、特開平06-151226号公報には、希土類薄膜磁石をスパッタリング法で形成する方法において、膜厚が約 $1\sim 40\text{nm}$ の金属層と膜厚方向に異方性をもつ $5\mu\text{m}$ 未満の $\text{R}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ （RはYを含む希土類元素）合金層とを交互に積

層する希土類薄膜磁石の形成方法、特開平08-83713号公報には $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ を主相とする希土類薄膜磁石のスパッタリング法における最適作製条件として、基板温度 $530\sim 570^\circ\text{C}$ 、成膜速度 $0.1\sim 4\ \mu\text{m/hr}$ 、ガス圧力 $0.05\sim 4\ \text{Pa}$ とすることが開示されている。さらに、特開平09-162034号公報には基板上に $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 、 $\text{SmCo}_5$ 、 $\text{Sm}(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Cu}, \text{Zr})_7$ 、 $\text{SmFe}_{11}\text{Ti}$ 、 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_2$ などの所謂希土類磁石からなる硬磁性層と $\text{Fe}$ 、 $\text{Fe-Ni}$ 、 $\text{Fe-Co}$ 、 $\text{Fe-Si}$ 、 $\text{Fe-N}$ 、 $\text{Fe-B}$ などの軟磁性層を交互に積層した多層合金膜を有する膜磁石において、基板温度 $450\sim 800^\circ\text{C}$ でのスパッタリング法により基板上に一層あたり $2\sim 4\ \text{nm}$ の厚さを有し、且つ厚さ方向に異方性をもつ前記硬磁性層と、基板温度 $150\sim 650^\circ\text{C}$ でのスパッタリング法により一層あたり $6\sim 12\ \text{nm}$ の厚さを有し、且つ厚さ方向に異方性をもつ前記軟磁性層とが交互に積層された多層希土類薄膜磁石が開示されている。また、特開平09-237714、特開平11-214219号公報にも、例えばスパッタリング法により基板温度 $300\sim 800^\circ\text{C}$ で、膜面内方向において互いに隣接する軟磁性層と硬磁性層の厚さを $\text{nm}$ 水準で厳密に制御した厚さ $0.01\sim 300\ \mu\text{m}$ の多層希土類薄膜磁石が開示されている。

## 【0003】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、スパッタリング法で希土類薄膜磁石を作製するには基板を $450^\circ\text{C}$ 以上に加熱する必要がある、成膜速度が $0.1\sim 4\ \mu\text{m/hr}$ と制限される。とくに、 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ を主相とする希土類薄膜磁石では酸化による保磁力低下を抑制するため、膜厚が $5\ \mu\text{m}$ 未満に制限される。また、軟磁性層と硬磁性層の厚さを $\text{nm}$ 水準で厳密に制御した厚さ $0.01\sim 300\ \mu\text{m}$ の多層希土類薄膜磁石では、更に磁石作製が複雑で経済的な整合性が乏しくなる。そこで、特開平11-288812号公報では基板を加熱することなくスパッタリング法にて成膜し、かつ成膜後に熱処理した $\text{R-Fe-B}$ 系希土類薄膜磁石が開示されている。しかしながら、この方法においても成膜速度が $4\ \mu\text{m/hr}$ 以下であるという課題や磁石の膜厚が十数 $\mu\text{m}$ 以下に制限されるという課題があった。

## 【0004】

一方、電磁モータ、電磁アクチュエータには小型化への強い要求がある。モータやアクチュエータでの小型化の要点は構成部品を少なくし、組立を単純化することである。このことから小型のモータやアクチュエータの可動子を粉末冶金学的手法による希土類焼結磁石や超急冷磁石粉末などを樹脂で特定形状に固めた希土類ボンド磁石で構成することが一般的である。なお、磁石と電機子巻線の位置関係から、磁石と電機子巻線が軸方向に空隙をもつ軸方向空隙型と、磁石と電機子巻線が半径方向に空隙をもつ径方向空隙型とが提案されている。ところが、本発明の対象となる図1のような直径5 mm、高さ1 mmというミリメートルサイズのモータやアクチュエータ（この場合は軸方向空隙型）では可動子を構成する希土類磁石も厚さ300  $\mu$ m、或いはそれ以下で作製する必要がある。ただし、図1において1は希土類磁石、2は回転軸、3は軸受、4は電機子巻線である。

#### 【0005】

R-TM-B系希土類焼結磁石は結晶粒子径が一般に6~9  $\mu$ mと大きく、その結晶粒界にはRリッチ相が存在するため研削加工時に表面から深さ数10  $\mu$ mに至る表層の磁気性能が加工劣化を起こす。また、材料が脆く難加工性であるため、歩留まりを考慮した加工限界は300~500  $\mu$ m程度と見積もられ、図1に示す用途への対応が困難となる。また、R-TM-B系希土類ボンド磁石は磁石の結晶粒子径が20~100 nmと比較的小さいが、磁石粉末粒子径を50  $\mu$ m以下に調整したときには保磁力の磁石粉末粒子径への依存性が強まる傾向がある。このため、磁石を薄くすると粉末磁気特性の低下や磁石密度の低下による磁気性能の低下が避けられず、磁気性能の維持と歩留まりを考慮した加工限界は300~500  $\mu$ m程度と見積もられる。

#### 【0006】

以上のように、ミリメートルサイズのモータやアクチュエータでは従来の粉末冶金学的手法による希土類焼結磁石、或いは超急冷希土類磁石粉末を樹脂で固めるボンド磁石を、そのまま採用しても希土類磁石の本来の磁気性能をモータやアクチュエータとして十分に引出して利用することができなかった。

#### 【0007】

また、スパッタリング法で希土類薄膜磁石を作製するには一般に基板を450



℃以上に加熱する必要があり、成膜速度が $0.1 \sim 4 \mu\text{m/hr}$ と制限される。とくに、 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ を主相とする希土類薄膜磁石では酸化による保磁力低下を抑制するため、膜厚が $5 \mu\text{m}$ 未満に制限される。また、軟磁性層と硬磁性層の厚さを $\text{nm}$ 水準で厳密に制御した厚さ $0.01 \sim 300 \mu\text{m}$ の多層希土類薄膜磁石では、更に磁石作製が煩雑で経済的な整合性が乏しくなるなどの欠点があり、ミリメートルサイズのモータやアクチュエータの普及を妨げる原因となっていた。

#### 【0008】

なお、電磁モータやアクチュエータを小型化した場合、スケーリング則によれば、電磁力は「 $L^3$ 」（ $L$ は体格）であるため、例えば可動子寸法（磁石）が $1/10$ になった場合、電磁力は $1/1000$ に減少する。したがって膜厚が $5 \mu\text{m}$ 未満の希土類薄膜磁石を、そのまま可動子とすると実使用の負荷に対応した電磁力が得られないなどの課題もあった。

#### 【0009】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明は、上記ミリメートルサイズのモータやアクチュエータの、とくに可動子を構成する希土類磁石の製造方法において、物理堆積法によって基板に厚さ $30 \sim 100 \mu\text{m}$ の $\text{R-B-TM}$ 系合金（ただし、 $\text{R}$ は $10 \sim 20 \text{at. \%}$ で、 $\text{Y}$ を含む希土類元素のうち少なくとも1種、 $\text{B}$ は $5 \sim 20 \text{at. \%}$ 、残部は $\text{TM}$ で $\text{Fe}$ または $\text{Fe}$ の一部を $\text{Co}$ で置換したもの、および不可避免的な不純物を含む）を成膜後、熱処理によって $\text{R}_2\text{TM}_{14}\text{B}$ を主相とする厚膜磁石を少なくとも1層以上設けた希土類厚膜磁石の提供にある。とくに、物理堆積法として、レーザーアブレーション法（ $\text{PLD}$ ）を用いることで成膜速度をスパッタリング法の $4 \mu\text{m/hr}$ から、およそ10倍の $50 \mu\text{m/hr}$ 程度に高めることができる。また、 $\text{PLD}$ ターゲットの合金組成を $\text{R}_x\text{TM}_{14}\text{B}$ （ $x > 2$ ）とし、 $\text{PLD}$ 基板を飽和磁化 $13 \text{kG}$ 以上の $\text{Fe}$ 、 $\text{Fe-Ni}$ 、 $\text{Fe-Co}$ 、 $\text{Fe-Si}$ 、 $\text{Fe-N}$ 、 $\text{Fe-B}$ の群から選ばれる軟磁性層とすると可動子のヨークを同時に作製することができ、小型化の際の要点である部品点数削減による組立の単純化が図れる。更に、 $\text{PLD}$ 基板表面に $\text{Ta}$ を配した構成の軟磁性層、更には基板に $\text{Ta}$ をイオ

ン注入した軟磁性層を使用すると、膜の酸化の抑制による高保磁力化に有効となる。例えば、PLDターゲットの合金組成を $R_{2.6}TM_{14}B$ 、成膜速度 $\geq 50 \mu m/hr$ 、雰囲気 $\leq 10^{-6} Torr$ で成膜後、最高到達温度 $650 \sim 750^\circ C$ で熱処理すると、 $50 \mu m$ の厚膜磁石の保磁力を $6 kOe$ 以上とすることができる。また、成膜後、厚さ方向へ加圧しながら直接通電し、そのジュール熱で結晶化と同時に厚膜磁石の表面を平滑化することも、成膜後にそれらを複数枚積層し、厚さ方向へ加圧しながら直接通電し、そのジュール熱で結晶化と同時に多層構造の希土類厚膜磁石とすることもできる。このような場合は、直接通電加熱の加熱速度を $\geq 9^\circ C/sec$ 、圧力 $200 \sim 400 kgf/cm^2$ 、 $\leq 1 Torr$ で行うと $10 kOe$ 以上の高保磁力フルデンス希土類厚膜磁石が得られる。

#### 【0010】

上記、 $30 \sim 500 \mu m$ の希土類厚膜磁石と回転軸とで構成した可動子、および前記可動子と空隙を介して対向する固定子とを備えた軸方向空隙型厚膜磁石モータ、平板状の可動子および平板状の固定子で構成した厚膜磁石モータ、或いは、可動子枠内壁にカーリング後、熱処理により結晶化した厚膜磁石と回転軸とで構成した可動子、および前記可動子と空隙を介して対向する固定子とを備えた径方向空隙型磁石モータはミリメートルサイズであっても高出力特性が得られる。

#### 【0011】

##### 【発明の実施の形態】

本発明は、物理堆積法によって基板に厚さ $30 \sim 100 \mu m$ の $R-B-TM$ 系合金（ただし、 $R$ は $10 \sim 20 at. \%$ で、 $Y$ を含む希土類元素のうち少なくとも1種、 $B$ は $5 \sim 20 at. \%$ 、残部は $TM$ で $Fe$ または $Fe$ の一部を $Co$ で置換したもの、および不可避免的な不純物を含む）を成膜後、熱処理によって $R_2TM_{14}B$ を主相とする厚膜磁石を少なくとも1層以上設けた希土類厚膜磁石の製造方法である。物理堆積法としてはレーザーアブレーション法（PLD）を用いることで成膜速度をスパッタリング法の $4 \mu m/hr$ から、およそ10倍を越える $50 \mu m/hr$ 程度に高めることができる。ターゲットの合金組成としての $R$ としては、とくに $Nd$ または $Pr$ の少なくとも1種を含むことが望ましく、 $Nd$ または $Pr$ の一部を $Dy$ で置換してもよい。 $R-B-TM$ からなる厚膜磁石層の $R$

が10at.%以下では十分な保磁力が発現せず、20at.%以上ではFe成分が減少して(BH)<sub>max</sub>とBrが減少する。Bは5at.%以下では保磁力が低下し、20at.%以上では(BH)<sub>max</sub>とBrが低下する。ターゲットの合金組成をとくにR<sub>2</sub>TM<sub>14</sub>B化学量論組成よりもRリッチなR<sub>x</sub>TM<sub>14</sub>B(X>2)とし、基板を飽和磁化13kG以上のFe、Fe-Ni、Fe-Co、Fe-Si、Fe-N、Fe-Bの群から選ばれる軟磁性層とすることが望ましい。更に、基板表面にTaを配した構成の軟磁性層、またはTaをイオン注入した軟磁性層を使用することもできる。例えば、成膜速度 $\geq 50 \mu\text{m/hr}$ 、雰囲気 $\leq 10^{-6} \text{Torr}$ でR-B-TM系合金を成膜後、最高到達温度650~750℃で熱処理し、磁石の不可逆減磁率を抑制するために6kOe以上の保磁力とすることが望ましい。また、R-B-TM系合金を成膜後、厚さ方向へ加圧しながら直接通電し、そのジュール熱で結晶化と同時に当該希土類厚膜磁石の表面を平滑化することも、R-B-TM系合金を成膜後にそれらを複数枚積層し、厚さ方向へ加圧しながら直接通電し、そのジュール熱で結晶化と同時に多層構造の希土類厚膜磁石とすることもできる。このような場合は、直接通電加熱の加熱速度を $\geq 9^\circ\text{C/sec}$ 、圧力200~400kgf/cm<sup>2</sup>、 $\leq 1 \text{Torr}$ で行うと10kOe以上の高保磁力フルデンス希土類厚膜磁石が得られる。圧力が200kgf/cm<sup>2</sup>以下では均質加熱ができない場合が生じ、400kgf/cm<sup>2</sup>以上では変形が大きく好ましくない。

#### 【0012】

上記、30~500μmの希土類厚膜磁石と回転軸とで構成した可動子、および前記可動子と空隙を介して対向する固定子とを備えた軸方向空隙型厚膜磁石モータ、平板状の可動子および平板状の固定子で構成した厚膜磁石モータ。或いは、可動子枠内壁にカーリング後、熱処理により結晶化した厚膜磁石と回転軸とで構成した可動子、および前記可動子と空隙を介して対向する固定子とを備えた径方向空隙型磁石モータを得ることができる。

#### 【0013】

#### 【実施例】

本発明を、実施例により更に詳しく説明する。但し、本発明は実施例に限定さ

れるものではない。

#### 【0014】

図2は本発明に掛る成膜装置の要部構成図である。図中21はターゲットで $\text{Nd}_{2.6}\text{Fe}_{14}\text{B}$ 合金が装着されている。22は $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ 、厚さ $10\mu\text{m}$ または $100\mu\text{m}$ のTa、W、Mo、 $\text{SiO}_2$ 、Fe、Taイオン注入したFeなどの一種からなる基板である。ターゲット21から基板22の距離は $7\text{mm}$ としている。また、23はターゲットに照射するレーザである。ターゲット21、基板22は真空チャンバー内にあり、 $5 \times 10^{-7} \sim 2 \times 10^{-6}\text{Torr}$ の真空度でターゲット21に $240 \sim 340\text{mJ}$ のエネルギーをもつレーザ23を $10 \sim 60\text{min}$ 照射し、成膜した。

#### 【0015】

図3は、 $\text{Nd}_{2.6}\text{Fe}_{14}\text{B}$ をTa基板に $1\text{hr}$ 成膜した後、およびそれを $550^\circ\text{C}$ 熱処理した後のヒステリシス特性を示す。ただし、図中の31は成膜後の面内方向ヒステリシス特性、32は成膜後の垂直方向ヒステリシス特性、33は熱処理後のヒステリシス特性である。 $H_d = N / \mu_0 \times 1$ （ただし、 $H_d$ は反磁界、 $N$ は反磁界係数、 $\mu_0$ は真空の透磁率）の関係から成膜した膜厚は $50\mu\text{m}$ と見積もられる。すなわち、成膜速度はスパッタリング法による成膜速度 $4\mu\text{m/hr}$ の、およそ10倍以上の高速であった。また、成膜後の熱処理前の段階では未だ保磁力は発現していない。しかし、熱処理後のヒステリシス曲線33（ $60\text{kOe}$ パルス着磁後）から明らかのように、熱処理によって厚膜（ $50\mu\text{m}$ ）は $10\text{kOe}$ を越える高い保磁力を示すようになる。

#### 【0016】

そこで、熱処理後の厚膜（ $50\mu\text{m}$ ）のX線回折パターンを図4に示す。図から明らかのように $\alpha\text{Fe}$ 相も存在するが、 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 相が認められ、保磁力の発現はこの $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 相によるものであることが了解される。

#### 【0017】

図5は基板の材質と熱処理後の保磁力の関係を示す特性図である。ただし、保磁力はTa基板を基準として規格化している。図のように保磁力はTa基板が最も高い保磁力を示した。なお、Taをイオン注入して表面改質したFe基板はT

a基板とほぼ同等な保磁力が得られた。これは基板表面にTaが存在することでNdの酸化が抑制されるためと推測される。(Taの注入は、例えばBROWN, I. G; "The Metal Vapor Vacuum-Arc (MEVVA) High Current Ion Source". IEEE Trans. on Nuclear Science, Vol. NS-32, No. 5 (1985). に開示されているように、真空中でアーク放電を起こしてカソード材としたTaを蒸発してイオン化し、70kVの直流電圧を印加したグリッド電極を介して当該イオンを加速し、引出したイオンビームを、質量分離せずに多価イオンの状態で直接純度99.98%のFe基板に注入した。なお、ここでの注入量は $10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup>とした。Taイオン注入したFe基板はミリメートルサイズのモータの可動子の部品点数の削減に効果的であることが了解される。

## 【0018】

図6はNd<sub>2.6</sub>Fe<sub>14</sub>Bの厚膜(50μm)の熱処理温度と保磁力の関係を示す特性図である。ただし、温度は450~750℃で、各温度における保持時間は1hrである。図から明らかなように加熱保持時間を1hrとしたとき、熱処理の最適温度は550~650℃付近にあり、6kOe以上の保磁力が得られる。

## 【0019】

図7は熱処理温度500~750℃の範囲での加熱保持時間と保磁力の関係を示す特性図である。図から明らかなように熱処理の保持時間を1hr以内としたとき、熱処理の最適温度は加熱保持時間を1hrとしたときの最適温度よりも高温側にシフトする。また、熱処理温度650、750℃では保持時間が短いほど高い保磁力が得られ、最適条件での保磁力は11kOeを上回るようになる。

## 【0020】

そこで、図8に示す構成の一对の電極にNd<sub>2.6</sub>Fe<sub>14</sub>B厚膜(50μm)を挟み込み、直接通電する高速加熱処理を試みた。ただし、図中81は厚膜(50μm)、82はTaイオン注入したFe基板、83はTiN/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>電極で表面粗度Rmaxは100nm、84は真空チャンバー、85はパルス直流電源

、86は直流電源、87は電源切替えスイッチである。

### 【0021】

先ず、上記構成の厚膜加熱手段としての直接通電加熱について説明する。ただし、系外への熱放散を無視し、 $1(W) = 0.2389(cal/sec)$ を考慮すれば、通電による昇温速度 $dT/dt(°C/sec)$ は $0.2389\Delta I^2(\rho/SC)$ となる。ここで、 $\Delta I$ は電流密度( $A/cm^2$ )、 $\rho$ は電気比抵抗( $\Omega cm$ )、 $C$ は比熱( $cal/°C \cdot g$ )、 $S$ は比重( $C \times S$ は体積比熱)である。すなわち昇温速度 $dT/dt(°C/sec)$ は電流密度の二乗と電気比抵抗 $\rho$ に比例し、体積比熱に反比例し、電極間距離には無関係となる。用いた $TiN/Si_3N_4$ 電極の室温における $\rho/SC$ は約 $10^{-4}(\Omega cm^4 \cdot deg/cal)$ であるから電流密度 $\Delta I$ を300、400 $A/cm^2$ とすれば、それぞれ9、および16 $°C/sec$ の高速加熱が可能である。そこで、チャンバーを $10^{-2} Torr$ に減圧し、電極間に挟み込んだ50 $\mu m Nd_{2.6}Fe_{14}B$ 厚膜と10 $\mu m$ 基板を200 $kgf/cm^2$ で圧縮しながら電流密度 $\Delta I = 200 A/cm^2$ 、0.5 $sec ON - 0.5 sec OFF$ のパルス通電処理を30 $sec$ 行った後、電流密度 $\Delta I = 300$ または400 $A/cm^2$ の直接通電を70、または40 $sec$ 行った。室温に冷却後に50 $\mu m Nd_{2.6}Fe_{14}B$ 厚膜と10 $\mu m$ 基板を取り出し、膜の表面粗度 $R_{max}$ を測定したところ、電極の表面形状が転写され何れも100 $nm$ の鏡面となっており、60 $kOe$ パルス着磁後の保磁力は何れも12 $kOe$ を示した。このように、加熱速度を高速化することは高保磁力化に有効であった。また、50 $\mu m Nd_{2.6}Fe_{14}B$ 厚膜と10 $\mu m$ 基板を5枚積層して同条件で直接通電加熱することで300 $\mu m$ の多層厚膜磁石が得られた。この多層厚膜磁石の全体の密度は約7.6 $g/cm^3$ であり、 $Fe$ と磁石の体積分率を考慮すると磁石密度は7.55 $g/cm^3$ と見積もられ、所謂フルデンス磁石となっていた。

### 【0022】

次に、上記厚さ300 $\mu m$ 、外径4.2 $mm$ 、内径2.0 $mm$ の多層厚膜磁石に30 $kOe$ のパルス磁界で2極着磁を施し、回転軸を固定して図1のミリサイズモータに組み込まれる直径5 $mm$ 、厚さ1 $mm$ の可動子を作製した。同時にN

d Fe B系焼結磁石を研削加工して同一構造の可動子を作製した。このモータは3相電機子巻線に順次通電することにより回転力を得るもので、発振回路で3相信号を作って電機子巻線に通電し、その周波数変化に同期させて可変速する同期モータ駆動（60～10000rpm）したときのモータの最大出力を（表1）に示す。このように、本発明例の厚膜多層磁石を可動子とするとミリセンチメートルサイズの電磁モータやアクチュエータの高出力化が可能となる。

【0023】

【表1】

可動子	最大出力 (mW)
本発明例	14
比較例	8

【0024】

【発明の効果】

以上述べたように、本発明によれば、従来のスパッタリング法による成膜速度の10倍以上の高速度で厚膜を基板上に成膜することができ、更に高速熱処理による結晶化で高保磁力の厚膜磁石とすることができる。この高保磁力型の希土類厚膜磁石は、焼結磁石の研削加工やボンド磁石での成形加工が困難な、例えば、厚さ300 $\mu$ m以下の高性能磁石が求められるミリセンチメートルサイズのモータやアクチュエータの高性能化、部品点数の削減、組立作業工数の低減が容易となる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明が対象とするモータの構成図

【図2】

成膜装置の要部構成図

【図3】

Nd<sub>2.6</sub>Fe<sub>14</sub>BをTa基板に1hr成膜した後、およびそれを550℃熱処

理した後の厚膜磁石のヒステリシス特性図

【図 4】

厚膜磁石の X 線回折パターン図

【図 5】

基板の材質と熱処理後の保磁力の関係を示す特性図

【図 6】

熱処理温度と保磁力の関係を示す特性図

【図 7】

加熱保持時間と保磁力の関係を示す特性図

【図 8】

直接通電による高速加熱処理装置の要部構成図

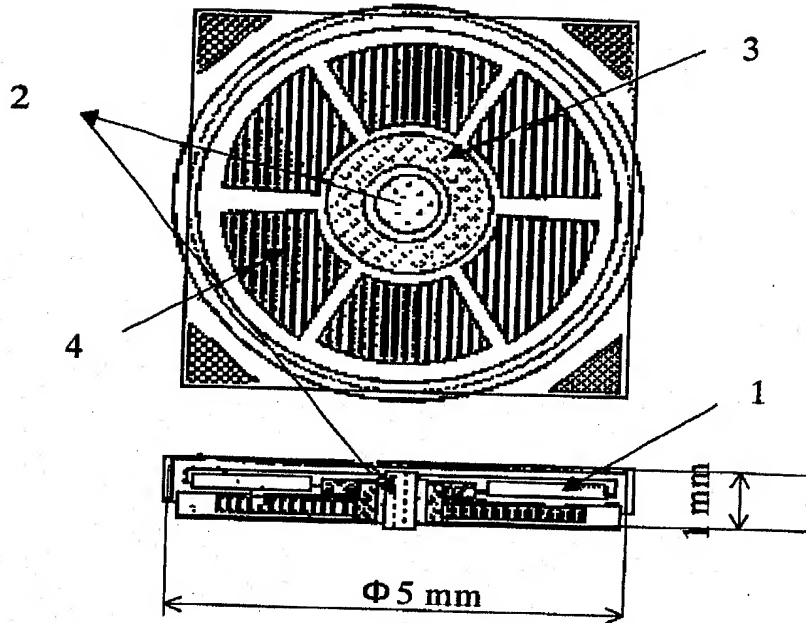
【符号の説明】

- 1 希土類磁石
- 2 回転軸
- 3 軸受
- 4 電機子巻線
- 21 ターゲット
- 22 基板
- 23 レーザ
- 31 成膜後の面内方向ヒステリシス特性
- 32 成膜後の垂直方向ヒステリシス特性
- 33 熱処理後のヒステリシス特性
- 81 厚膜
- 82 基板
- 83 電極
- 84 真空チャンバー
- 85 パルス直流電源
- 86 直流電源
- 87 電源切替えスイッチ

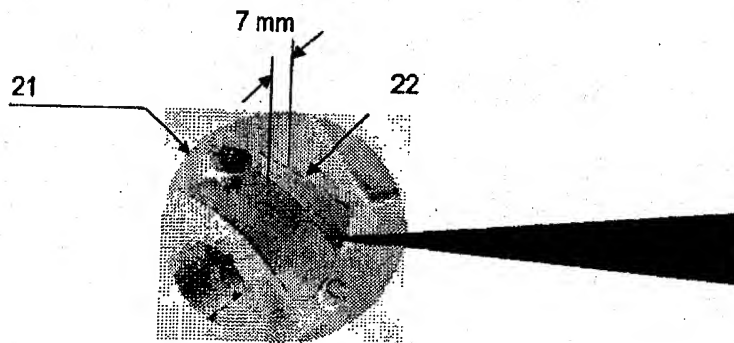


【書類名】 図面

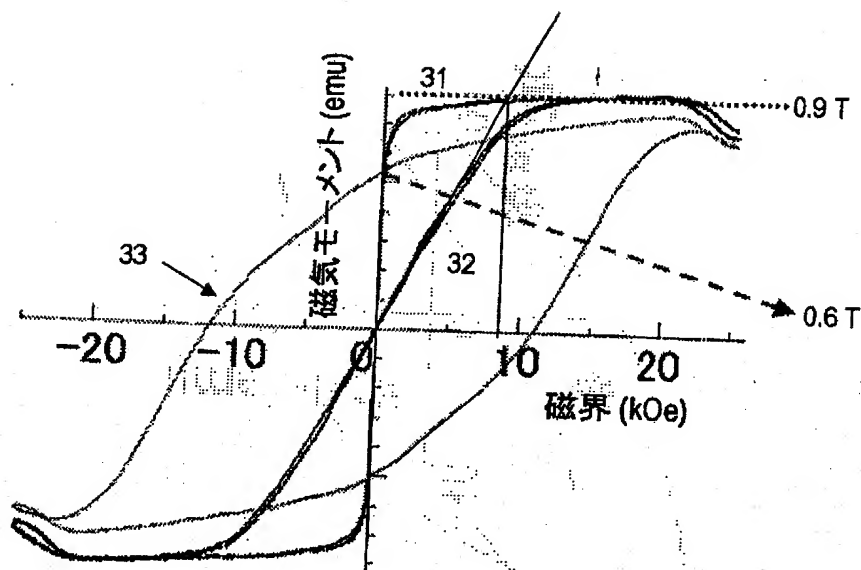
【図 1】



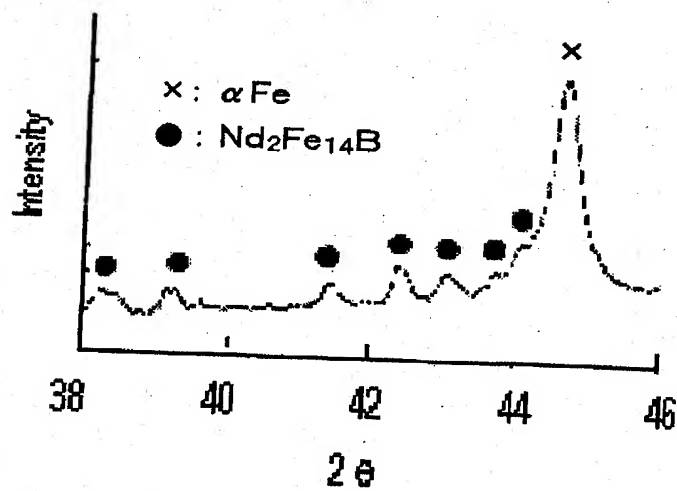
【図 2】



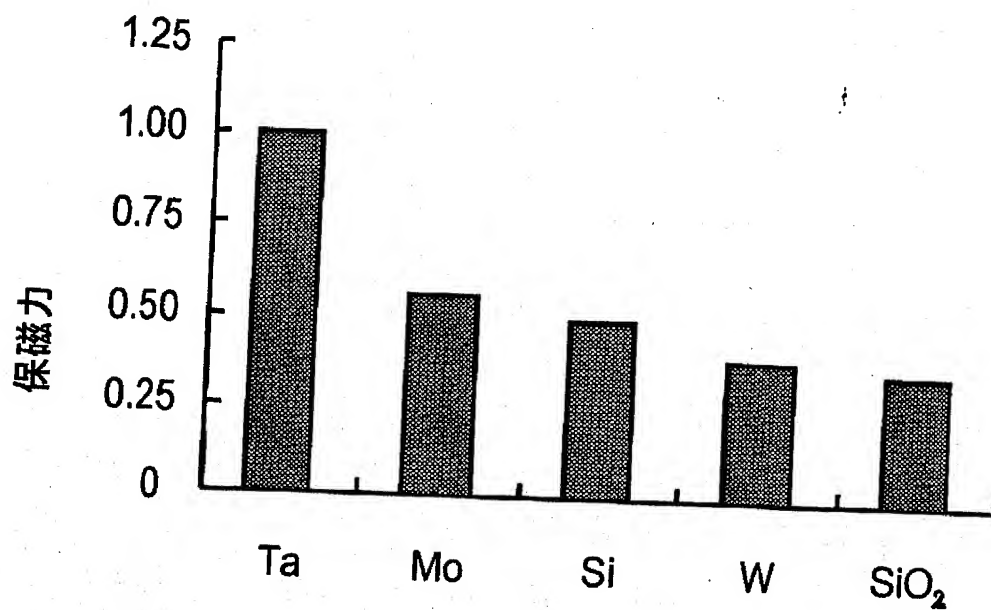
【図 3】



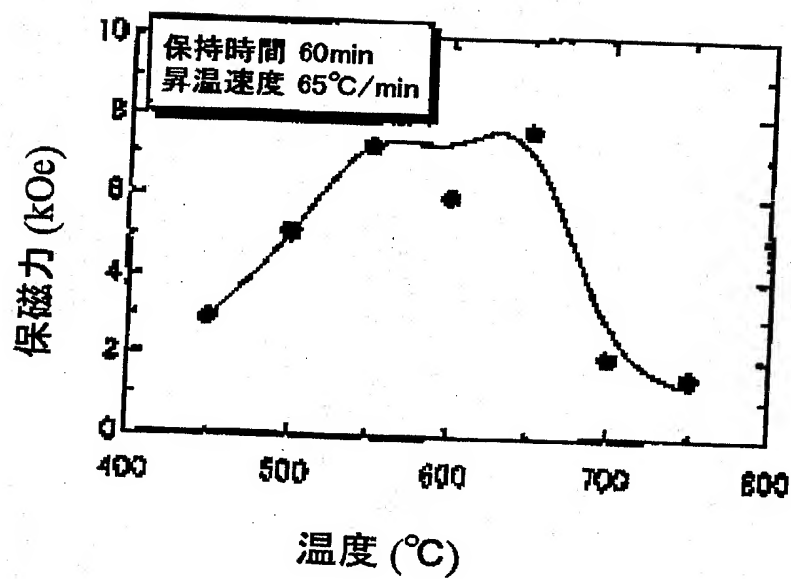
【図 4】



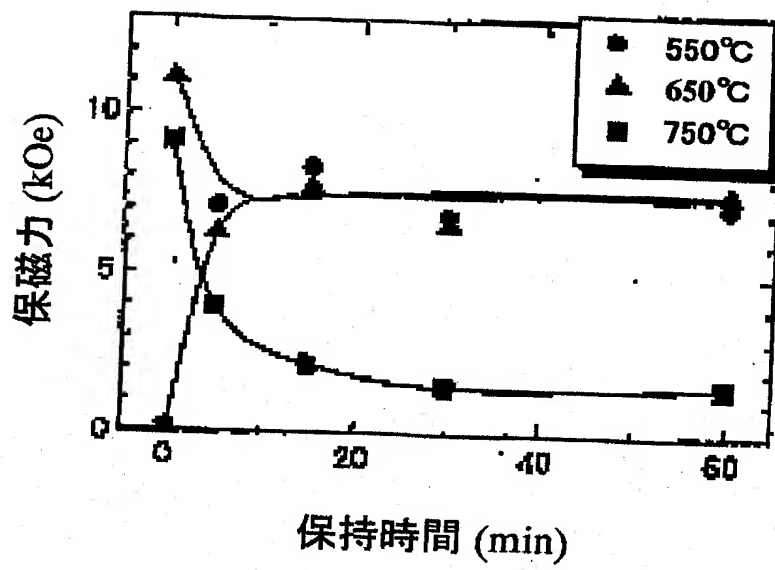
【図 5】



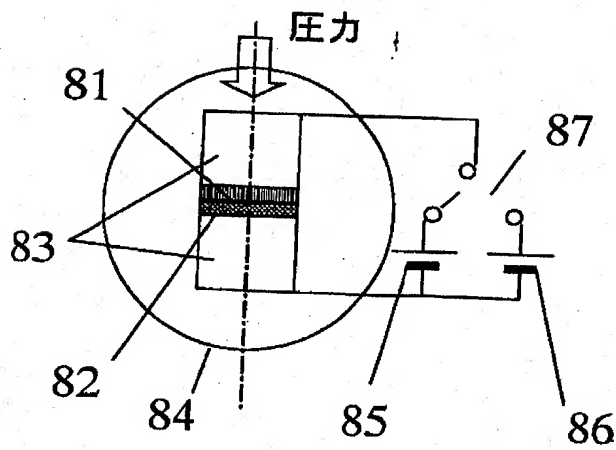
【図 6】



【図7】



【図8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 本発明は、粉末冶金学的手法による焼結磁石やボンド磁石による加工が困難な厚さ領域、 $10 \sim 300 \mu\text{m}$ の希土類厚膜磁石の製造方法、ならびにこれを用いたミリメートルサイズの磁石モータを提供するものである。

【解決手段】 レーザーアブレーション法 (PLD) による成膜で、従来のスパッタリング法による成膜速度の10倍以上の高速度で厚膜を基板上に成膜し、高速熱処理による結晶化で高保磁力の希土類厚膜磁石とする。

【選択図】 図1

出願人履歴情報

識別番号

[000005821]

1. 変更年月日 1990年 8月28日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府門真市大字門真1006番地  
氏 名 松下電器産業株式会社